·论著·

基于多目标规划的成年炎症性肠病患者健康膳食推荐模型研究

尹婷婷，徒文静，柏亚妹，黄丽娜，李伊婷，徐桂华*

210023 江苏省南京市，南京中医药大学护理学院
*通信作者：徐桂华，教授/博士生导师；E-mail：7115@njucm.edu.cn

【摘要】 **背景** 膳食是炎症性肠病（IBD）患者健康管理的关键部分，构建健康膳食推荐模型有助于为IBD患者提供工具，有助于膳食管理和疾病康复。**目的** 构建成年IBD患者健康膳食推荐模型并初步验证。**方法** 2023年9月成立研究小组，采用文献研究和德尔菲专家咨询法明确IBD患者推荐营养素种类及摄入量，筛选具有抗炎或促炎特性的营养素，采用食物-频次矩阵方法识别患者膳食偏好，在此基础上利用多目标优化算法和协同过滤算法建立成年IBD患者健康膳食推荐模型。采用目的性抽样和最大差异抽样，于2023年12月选取在南京中医药大学附属南京中医院IBD中心就诊的20例成年IBD患者，运用该模型采用多目标粒子群算法和协同过滤算法为IBD患者推荐个性化膳食种类和摄入量，据此验证模型可行性和科学性。**结果** 成年IBD患者健康膳食推荐模型需同时满足营养需求、辅助治疗和膳食偏好三大目标。营养需求主要考虑能量、蛋白质、膳食纤维、维生素D、钙和铁6个指标，辅助治疗从膳食纤维、维生素A、维生素C、维生素E、硒、镁和锌等7类抗炎营养素和能量、脂肪、蛋白质和铁等4大促炎营养进行综合考量，算法求解得出符合20例IBD患者膳食偏好的个性化膳食推荐方案。验证结果显示该模型食物种类推荐平均准确率为95.5%，营养素平均误差为12.60%。**结论** 该研究构建的成年IBD患者健康膳食推荐模型准确有效，有助于提升IBD膳食管理精细化。

【关键词】 炎症性肠病；膳食，健康；膳食推荐；模型构建；多目标规划
【中图分类号】 R 574 【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2024.0473

Study on Healthy Dietary Recommendation Model for Inflammatory Bowel Disease Patients Based on Multi-objective Planning

*YIN Tingting，TU Wenjing，BAI Yamei，HUANG Lina，LI Yiting，XU Guihua**
School of Nursing，Nanjing University of Chinese Medicine，Nanjing 210023，China
**Corresponding author：XU Guihua，Professor/Doctoral supervisor；E-mail：7115@njucm.edu.cn*

【Abstract】 **Background** Diet is a critical component of health management for patients with inflammatory bowel disease（IBD），and modeling healthy dietary recommendations can help provide patients with tools to aid in dietary management and disease recovery. **Objective** To construct and validate a healthy dietary recommendation model for adult patients with IBD. **Methods** A research group was set up to clarify the recommended nutrient groups and intakes for IBD patients using literature research and Delphi expert consultation method，to screen nutrients with anti-inflammatory or pro-inflammatory properties，to identify patients' dietary preferences using food-frequency matrix method，and to establish a model for recommending healthy diets to patients with IBD using multi-objective optimization algorithms and collaborative filtering algorithm. Using purposive sampling and maximum variation sampling，20 IBD adult patients were selected from a tertiary hospital in Nanjing in December 2023，and the model was applied to recommend personalized dietary types and intake for IBD patients using a multi-objective particle swarm algorithm and collaborative filtering algorithm to validate the model's feasibility and scientificity. **Results** The model of healthy dietary recommendations for IBD adult patients needs to meet the three main goals of nutritional needs，complementary therapies

基金项目：国家自然科学基金青年基金资助项目（72204124）；南京中医药大学国自然青年基金经费配套项目（XPT72204124）
引用本文：尹婷婷，徒文静，柏亚妹，等．基于多目标规划的成年炎症性肠病患者健康膳食推荐模型研究［J］．中国全科医学，2025. DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2024.0473.［Epub ahead of print］［www.chinagp.net］
YIN T T，TU W J，BAI Y M，et al. Study on healthy dietary recommendation model for inflammatory bowel disease patients based on multi-objective planning［J］. Chinese General Practice，2025.［Epub ahead of print］

and dietary preferences at the same time. Nutritional requirements are mainly considered in six indicators: energy, protein, dietary fiber, vitamin D, calcium and iron; adjuvant therapy is based on the comprehensive consideration of seven anti-inflammatory nutrients such as dietary fiber, vitamin A, vitamin C, vitamin E, selenium, magnesium and zinc, as well as the four major pro-inflammatory nutrients such as energy, fat, protein and iron; and algorithmic solving results in a personalized dietary recommendation plan in line with the dietary preferences of the 20 patients with IBD. The validation results showed that the average accuracy of the model's food group recommendations was 95.5%, and the average nutrient error was 12.60%. **Conclusion** The model of healthy dietary recommendations for IBD adult patients constructed in this study is accurate and effective and helps to improve the refinement of IBD dietary management.

【Key words】 Inflammatory bowel diseases; Diet healthy; Dietary recommendations; Modeling; Multi-objective Planning

炎症性肠病（inflammatory bowel disease，IBD）是一种无法治愈的消化道疾病，主要包括溃疡性结肠炎（ulcerative colitis，UC）和克罗恩病（Crohn's disease，CD）[1-2]。我国 IBD 发病率持续增高且多为青年患者，病情反复加重医疗体系压力和社会负担[3-4]。合理膳食是 IBD 患者健康管理的关键部分[5]。然而，由于 IBD 膳食管理的长周期、多阶段及复杂性，患者常出现不良膳食习惯和行为，引发系列健康危机[6]。国内外指南明确提出应为 IBD 患者提供个性化膳食指导和膳食推荐[7-9]。然而，医务人员难以实时跟进患者日常膳食，如何综合考虑 IBD 患者疾病变化、营养需要、用餐情景和膳食偏好，对食物种类、摄入量、食用频率、食物搭配和烹饪方式等进行动态综合推荐极具挑战[10]。借助计算机技术的膳食推荐系统在糖尿病[11]、高血压[12]等患者中应用广泛。然而，令人遗憾的是，目前在 IBD 领域中借助计算机技术进行个性化膳食方案推荐的报道鲜见。基于此，本研究拟构建 IBD 患者健康膳食推荐模型，为患者提供智能科学的膳食推荐方案，以期为 IBD 患者精细化膳食管理提供借鉴和参考。

1 IBD 患者健康膳食推荐需求分析

1.1 组建研究小组

2023 年 9 月组建研究小组，共 7 名成员，包括 2 名慢性病管理专家、1 名 IBD 领域专家、1 名营养科医生、1 名计算机技术与应用开发人员、2 名接受过循证护理专业培训的研究生（博士、硕士各 1 名）。研究小组的主要任务包括设计健康膳食推荐模型结构，开展文献研究和德尔菲专家咨询明确能量及营养素推荐指标和数值，筛选具有抗炎或促炎特性的营养素，识别患者膳食偏好，构建健康膳食推荐模型，设计模型求解算法，并开展模型验证分析。

1.2 模型结构设计

研究小组参考国内外 IBD 营养与膳食管理指南[7-9]，根据 IBD 患者膳食管理实践需求[13-14]，结合小组成员临床经验[6]，经多次充分讨论，明确 IBD 患者健康膳食推荐总原则包括满足 IBD 患者营养需求、辅助治疗和膳食偏好。因此，可将 IBD 患者膳食推荐问题建模为多目标进化问题进而设计模型结构，在膳食推荐过程中平衡三大目标，为患者推荐个性化膳食方案。

1.2.1 营养需求：采用循证方法学筛选满足 IBD 患者营养需求的指标和推荐值，严格按照证据资源“6S”模型，对国内外指南网、专业学会网站及数据库系统检索 IBD 患者膳食营养相关的证据。包括：Up To Date、澳大利亚乔安娜布里格斯研究所（Joanna Briggs Institute，JBI）循证卫生保健中心数据库、加拿大安大略注册护士协会循证护理指南网（Registered Nurses' Association of Ontario，RNAO）、苏格兰学院间指南协作网（Scottish Intercollegiate Guidelines Network，SIGN）、英国国家卫生与临床优化研究所（National Institute for Healthand Care Excellence，NICE）网站、欧洲临床营养和代谢学会网站、Cochrane Library、PubMed、Web of Science、CINAHL、医脉通、中国生物医学文献数据库、中国知网、万方数据知识服务平台。检索时限为建库至 2023-10-20。共检索到 187 篇文献，筛选后纳入 19 篇文献，包括 2 篇临床决策[15-16]、9 篇指南[7-8，17-23]、6 篇专家共识[9，24-28]及 2 篇证据总结[29-30]。通过证据提取和汇总结合团队成员讨论，形成初始营养需求核心指标，进一步设计专家咨询问卷。采用德尔菲法对成年 IBD 患者营养需求具体内容进行了两轮咨询，共 15 名专家，专家信息详见表 1。两轮咨询表回收率均为 100%，两轮专家权威系数分别为 0.78、0.85，Kendall's W 系数分别为 0.15、0.12（P<0.001）。

经文献研究和两轮德尔菲专家咨询，最终确定了 IBD 患者营养需求的核心指标和具体推荐内容。详见表 2。

1.2.2 辅助治疗：IBD 的病理特征是肠道的慢性炎症。研究发现膳食中某些营养素具有抗炎或促炎的特性，抗炎或促炎营养素之间的相互作用会影响机体炎症进而影响患者疾病预后[31]。因此，膳食推荐在综合考虑食物种类、摄入量、频率和比例的综合效应时，还需评估推

荐食物中所含的营养素之间的协同、累积和拮抗作用。膳食炎症指数（dietary inflammatory index，DII）通过结合膳食成分摄入量与常见炎症标志物之间的相关性用以评估膳食模式的抗炎或促炎能力[32]。DII 由 45 种初始膳食成分或营养素组成，包括宏量营养素、微量营养素、其他膳食成分和食物，通常将具有炎症效应的膳食成分赋予炎性权重，该权重反映了其与常见的 6 种炎症标志物的相关性。如果膳食成分与炎性指标呈正相关，则 DII 评分为“+1”分，反之则为“−1”分，若膳食成分没有炎症效应则为“0”分。最终膳食模式的数值为“负”时表示具有抗炎作用，数值为“正”时表示具有促炎作用，并且得分越高，炎症潜力越大。由于没有一个国家拥有所有 45 种初始膳食成分或营养素的完整数据[32]，因此本研究综合考虑《中国食物成分表标准版》第 6 版中第一册和第二册[33]的现实数据，选取具有抗炎特性的营养素包括膳食纤维、维生素 A、维生素 C、维生素 E、硒、镁和锌，具有促炎特性的营养素包括能量、脂肪、蛋白质和铁。为实现膳食的辅助治疗效果，在膳食推荐时应减少促炎营养素摄入，同时增加抗炎营养素的摄入，增加食物的抗炎潜力。

表 1 德尔菲咨询专家基本资料

Table 1 General information on the Delphi correspondence experts

序号	性别	年龄（岁）	学历	职称	研究领域	专业	工作年限（年）
1	男	27	博士	中级	IBD	临床	≤ 10
2	女	49	本科	副高	临床护理 IBD	护理	≥ 30
3	男	43	博士	正高	IBD	临床	20~29
4	女	34	硕士	中级	临床护理 IBD	护理	10~19
5	女	35	博士	中级	教育	营养	≤ 10
6	女	37	硕士	副高	临床护理 IBD	护理	10~19
7	男	66	硕士	正高	IBD	临床	≥ 30
8	女	32	博士	中级	临床	营养	≤ 10
9	女	35	博士	中级	临床	营养	≤ 10
10	女	43	本科	正高	临床护理 IBD	护理	20~29
11	女	31	博士	副高	教育	护理	≤ 10
12	女	38	博士	中级	教育	护理	≤ 10
13	女	36	硕士	副高	教育	营养	10~19
14	女	34	博士	副高	教育	营养	10~19
15	女	56	硕士	正高	临床护理 IBD	护理	≥ 30

注：IBD= 炎症性肠病。

表 2 炎症性肠病患者营养需求的核心指标

Table 2 Core indicators of nutritional needs in patients with inflammatory bowel disease

指标	推荐值
1. 能量	1.1 缓解期成年 IBD 静息状态下能量推荐为 25~30 kcal·kg^{-1}·d^{-1}，体力活动高的患者应适当增加
	1.2 活动期成年 IBD 静息状态下能量推荐为 24~33 kcal·kg^{-1}·d^{-1}，体力活动高的患者应适当增加
2. 蛋白质	2.1 缓解期成年 IBD 蛋白质需要量约为 1.0 g·kg^{-1}·d^{-1}，同时优质蛋白质应占 50% 以上
	2.2 活动期成年 IBD 蛋白质需要量为 1.2~1.5 g·kg^{-1}·d^{-1}，同时优质蛋白质应占 50% 以上
3. 膳食纤维	3.1 无明显梗阻风险的 CD 患者无需限制膳食纤维，但应监测胃肠道症状评估对纤维摄入量耐受性
	3.2 缓解期且无狭窄的 IBD 患者膳食纤维的推荐摄入量为 14 g/1 000 kcal
	3.3 处于缓解期但有慢性狭窄性疾病的 CD 患者每日纤维摄入量为 5 g
4. 维生素 D	4.1IBD 患者维生素 D 推荐摄入量为 300 U/d，并监测有无维生素 D 缺乏
5. 钙	5.1 小于 40 岁的男性和绝经前女性 IBD 患者钙推荐摄入量为 1 000 mg/d
	5.2 绝经后女性和 40 岁以上男性 IBD 患者钙推荐摄入量为 1 200 mg/d
	5.3 若 IBD 患者进行负重锻炼，需保持 1 g/d 的膳食钙摄入
6. 铁	6.1 成年 IBD 患者男性的铁推荐摄入量为 12 mg/d，女性的铁推荐摄入量为 20 mg/d

注：CD= 克罗恩病。

1.2.3 膳食偏好：对于 IBD 膳食推荐，在保证满足营养需求和辅助治疗两大目标基础上，还需结合患者膳食偏好为其个性化推荐食物列表，从而实现营养、治疗与口味三者兼得。相关文献发现考虑膳食偏好的推荐有利于提高膳食管理的依从性，帮助改善健康行为[34]。中国饮食文化博大精深，菜系流派各具特色，患者对膳食的偏好存在差异。通过挖掘患者的膳食偏好，同时为患者推荐符合其口味和病情状态的食材种类，建立满足患者膳食偏好的模型。

2 IBD 患者健康膳食推荐模型建立

本研究旨在考虑不同特征的成年 IBD 患者的营养需求、辅助治疗和膳食偏好 3 大目标对患者进行个性化膳食推荐，因此本模型主要由多目标粒子群优化算法模型和基于患者膳食偏好的协同过滤模型构成，多目标粒子群优化模型用于解决营养需求和辅助治疗问题，基于患者膳食偏好的协同过滤模型用于解决膳食偏好问题。

2.1 多目标粒子群优化算法模型

根据 IBD 患者营养需求模块推荐指标和数值，为保证不同疾病类型、疾病状态、性别、身高、年龄的 IBD 患者摄入足够营养，将所需营养设为需满足的最低值，同时满足辅助治疗需求，模型建立如下：

$$
s.t.\begin{cases}
F(x)=F_1(x), F_2(x), F_3(x) \\
Y=(D_f, C_f) \\
F_1(x)=Q=\sum_{j=1}^{n} e_j X_j,\ j=1, 2, 3\cdots J \\
F_2(x): B^{qp}{}_{i\min} \leqslant \sum_{j=1}^{n} k_{ji} X_j \leqslant jB^{qp}{}_{i\min},\ k\neq 0=1,\ i\neq 0 \\
F_3(x): \sum_{j=1}^{n} C_{ru} X_r \geqslant \sum_{j=1}^{n} kd_{lv} X_l,\ u\neq 0=1, v\neq 0, r\neq 0, l\neq 0
\end{cases}
$$

式中：$F(x)$表示应满足的总目标，$F_1(x)$、$F_2(x)$、$F_3(x)$指子目标函数，Df表示疾病特征，Cf表示人群

特征，Q 为每日摄入食物能量，e 为每 100 克食物能量值，n 为第 n 种食物能量；j 是摄入的食物种类，k_i 为每 *100* 克食物中第 种营养素的含量，*imin* 为所选择食物中第 i 种营养素最低推荐量，*imax* 为所选择食物中第 种营养素最高推荐量，C_{ru} 指 r 种食物中第 u 种促炎营养素的含量，d_{lv} 指 l 种食物中第 v 种促炎营养素的含量。

2.2　基于患者膳食偏好的协同过滤模型

本研究借助课题组前期的膳食调查数据[35]，通过分析患者既往至少连续 3 d 的饮食数据，采用食物 – 频次矩阵，筛选患者膳食记录中的高频食物。考虑到患者饮食记录次数的差异，本研究利用患者膳食偏好矩阵计算患者对食物的偏好程度，进而向目标患者推荐个性化食物列表。患者膳食偏好定义如下：

$$L_{ij}=F_{ij}-N_i \quad (1)$$

式中：L_{ij} 为患者 U_i 对于第 j 种食物 F_j 的饮食偏好，F_{ij} 为用户 U_i 对于食物 F_j 的饮食频次，N_i 为用户 U_i 总的饮食频次。

同时为保证患者每天食物种类多样，将每一类食品数目进行严格控制，参考《中国居民膳食指南（2022 版）》[36]，将所有的食品分为 9 大类，分别为谷类、薯类、豆类、奶制品类、畜禽肉类、水产品类、蛋类、蔬菜类和水果类，该模型每日推荐食物种类 N 不少于 12 种，蔬菜类和水果类为 1~2 种，其余种类至少 1 种。因此，利用式（1）基于 IBD 患者膳食偏好的协同过滤模型如下：

$$Q(m, n)-\begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} & Q_{1n} \\ Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} & Q_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{m1} & Q\mathrm{m}^2 & \cdots & Q_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\min S_k=\sum_{n=k_o}^{k_t} y_i \leqslant \min \mathrm{s}_k,\ k \neq 0$$

式中：Q_{mn} 为患者 U_i（$1 \leqslant i \leqslant m$）对第 j（$1 \leqslant j \leqslant n$）种食物的食用偏好，*minsk* 指营养膳食塔中第 k 类中最低需要种数；*maxsk* 指营养膳食塔中第 k 类中最高需要种数；n 表示食物总种数；*ko* 指营养膳食塔中第 k 类的初始编号；*kt* 指营养膳食塔中第 k 类的末尾编号。

3　IBD 患者健康膳食推荐模型算法求解

多目标粒子群优化算法用于输出食谱中各类营养素的具体含量，基于患者的协同过滤算法用于输出食材。

3.1　多目标粒子群优化算法

针对营养需求和辅助治疗问题，该模型求解可借助 maltab 2023b 软件采用多目标粒子群算法。本研究基于自适应栅格的多目标粒子群优化算法[35]。

3.2　基于患者的协同过滤算法

根据基于患者偏好的协同过滤模型，设计协同过滤算法伪代码。

4　IBD 患者健康膳食推荐模型验证

采用目的抽样法和最大差异化抽样方法，于 2023 年 12 月选取在南京中医药大学附属南京中医院 IBD 中心就诊的 20 例成年 IBD 患者开展膳食调查，患者纳入标准：（1）符合 IBD 诊断标准，并经内镜和病理检查确诊；（2）确诊时间 >6 个月并处在缓解期的 IBD 患者；（3）拥有 1 部智能手机并可熟练使用。排除标准：（1）存在严重精神疾病及语言沟通障碍；（2）无法顺利完成膳食记录者。患者信息见表 3。本研究采用三天膳食日记（含 2 个工作日和 1 个休息日）收集患者的膳食情况。在开始记录之前研究人员对患者进行膳食记录方法培训，并提供《中国居民膳食指南（2022 版）》食物标准份量参考图帮助患者评估食物重量。同时研究人员为每位患者发放一份 40 cm × 30 cm 的餐垫，要求患者在用餐前后将盛有食物的餐盘放置在餐垫上拍照发给研究人员，研究人员根据食物照片和患者文字记录进行核对，最终每位患者记录自己连续摄入的食物的种类和数量，研究人员将所有历史膳食数据中的食物及食物的营养素进行罗列。进而利用 maltab 2023b 软件求解模型，将患者一天的饮食情况记为一条膳食记录并存入数据库中，共有 60 条膳食记录。依据膳食记录做菜谱推荐，然后通过多目标粒子群算法优化推荐食谱中各种食物的重量。其中多目标粒子群优化算法的参数设置如下：惯性因子 w=0.5，学习因子 c1=c2=2，迭代次数 k=200，粒子数量 m=30，外部存档 size=500，栅格数 N=10。最终求得一天需要摄入的食品，将患者实际的 3 d 饮食摄入与推荐的一日食物进行比较，以患者 1~3 为例，见表 4。

将本研究中推荐得到的患者个性化食物列表与患者实际摄入是食物列表进行对比，用推荐的准确率指标来衡量推荐系统对患者膳食偏好的识别情况。准确率 = 实际和推荐的食物重复个数 / 推荐食物种类个数。推荐食物与患者实际食用的食物重复数量越多，说明推荐准确性越高，则表明膳食偏好的识别越准确[37]。重复试验结果显示，IBD 患者膳食推荐准确率为 80.0~100%，平均准确率为 95.5%，见图 1。

将 20 例患者的实际膳食摄入情况录入本团队自主研发的 IBD 膳食营养分析软件[38]，计算每人每日三大产能营养素的摄入量及其他营养素摄入量，并以《炎症性肠病患者营养支持的最佳证据总结》[30] 为依据评价该模型推荐的膳食营养与构成是否合理。采用营养素实际摄入量和推荐摄入量的误差率反应模型推荐准确性，即推荐系统满足患者能量及营养素摄入情况。误差率 =（模型推荐营养素—标准摄入营养素）/ 标准摄入营养素，误差率结果取绝对值，误差率 ±10% 为达标。本

表 3 20 例患者一般资料

Table 3 General information of 20 patients

患者	疾病类型	性别	年龄（岁）	身高（cm）	体质量（kg）
1	UC	男	60	175	82
2	UC	男	38	175	62
3	CD	男	23	172	58
4	CD	女	24	160	45
5	UC	男	54	170	61
6	UC	男	21	171	58
7	CD	女	42	160	50
8	UC	男	36	179	72
9	UC	男	33	173	75
10	CD	男	24	183	77
11	UC	男	44	178	82
12	UC	男	27	174	63
13	CD	女	39	163	60.5
14	CD	男	40	173	71
15	CD	男	22	170	60
16	UC	男	27	172	53
17	UC	男	52	170	78
18	UC	女	25	161	42
19	CD	男	39	180	68
20	CD	男	49	163	61

注：UC= 溃疡性结肠炎。

表 4 患者 1~3 的饮食数据

Table 4 Dietary data for patients 1-3

患者	记录食物（3 d）	推荐食物（1 d）
1	胡萝卜 60 g、粳米 300 g、猪肉 340 g、香菇 150 g、面条 790 g、鸡肉 190 g、番茄 150 g、鸡蛋 200 g、茨菇 110 g、萝卜 430 g、排骨 130 g、白菜 240 g、青菜 420 g、虾仁 80 g、包菜 120 g、香干 100 g、菌菇 80 g	猪肉 40 g、粳米 140 g、白菜 50 g、面条 150 g、鸡肉 20 g、番茄 47 g、鸡蛋 50 g、胡萝卜 70 g、排骨 20 g、青菜 70 g、虾仁 70 g、包菜 70 g
2	粳米 100 g、豆腐 120 g、鸭血 80 g、猪肉 130 g、胡萝卜 70 g、面条 700 g、粳米 500 g、鸡蛋 200 g、排骨 80 g、白菜 100 g、青菜 120 g、虾仁 60 g、肥牛 80 g、油面筋 50 g、鹅胗 80 g、花椰菜 250 g、土豆 150 g、白瓜 80 g、榴莲 170 g、昂刺鱼 70 g、猪肝 80 g、大头菜 70 g、粉丝 100 g	面条 125 g、鸡蛋 50 g、豆腐 10 g、粳米 125 g、花椰菜 130 g、胡萝卜 140 g、猪肉 20 g、白菜 90 g、青菜 90 g、虾仁 40 g、鸭血 15 g、油面筋 25 g
3	粳米 300 g、猪肉 310 g、白瓜 100 g、胡萝卜 60 g、面条 450 g、鸡肉 70 g、鸡蛋 70 g、青菜 210 g、包菜 120 g、梨 300 g、土豆 60 g、青椒 120 g、白瓜 230 g、百叶 60 g、蘑菇 80 g、鸭肉 70 g	猪肉 50 g、粳米 175 g、白菜 65 g、面条 165 g、鸡蛋 50 g、梨 200 g、青椒 60 g、白瓜 60 g、鱼 95 g、鸡肉 30 g、包菜 60 g、山药 50 g

部分基于多目标优化的目标函数随机抽取 1 例患者，计算患者的食物含量中所含的能量及营养素情况，将其推荐食物含量的能量及营养素与推荐摄入的能量及营养素进行比较，结果显示，本研究中的 6 种营养素中有 5 种营养素误差在 20% 以内，最低误差为 0.82%，最高误差为 51.02%，平均误差 12.60%，见表 5。

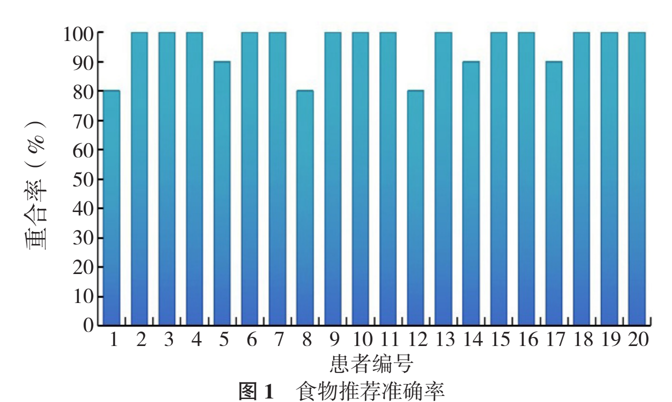


图 1 食物推荐准确率

Figure 1 Accuracy of food recommendation

表 5 模型推荐与标准摄入的误差比较

Table 5 Comparison of errors in nutritional blending and standardized intake

营养素	标准摄入	模型推荐	偏差	误差（%）
热量	1 505.00 kcal	1 385.75 kcal	−119.25 kcal	7.92
蛋白质	60.50 g	60.998 g	0.498 g	0.82
膳食纤维	5.00 g	2.446 g	−2.554 g	51.08
维生素 D	14.00 mg	4.410 6 mg	−0.589 4 mg	4.21
钙	800.00 mg	317.29 mg	−82.71 mg	10.34
铁	12.00 mg	11.854 mg	−0.146 mg	1.22

3 讨论

3.1 融合多目标的 IBD 患者健康膳食推荐模型具有较高科学性

IBD 尚无根治方法，科学膳食管理不仅有利于控制 IBD 复发，还能预防和纠正 IBD 患者常见的营养不良。本研究构建的 IBD 患者健康膳食推荐模型综合考虑 IBD 患者营养需求，兼顾辅助治疗和膳食偏好，最大限度满足患者健康和口味需求。营养需求作为 IBD 患者健康膳食推荐的重要内容，是确保患者科学膳食管理的基础。营养需求模块以循证医学为基础，在全面系统检索文献和德尔菲专家咨询过程中严格遵循研究步骤，选取能量、蛋白质、膳食纤维、维生素 D、钙、铁 6 个推荐指标，内容全面、细化。IBD 作为肠道疾病，加之药物、心理等多方面的影响，患者消化吸收受损易引起营养障碍，最常见的为 IBD 相关蛋白质 – 能量营养不良[39]。可见，营养素的摄入量是 IBD 患者膳食管理的要点，尤其是能量和蛋白质的摄入量。活动期 IBD 患者能量消耗增加，保持足够的能量摄入可以降低 IBD 患者能量代谢受损的风险。此外，处在活动期的 IBD 患者因蛋白质代谢增加、饮食摄入不足及疾病治疗的影响，其蛋白质推荐摄入量为 1.2~1.5 g·kg^{-1}·d^{-1}，同时优质蛋白质应占摄入总蛋白的 50% 以上。微量营养素缺乏是 IBD 患者日常膳食管理的另一个突出问题。相关文献显示，IBD 患者摄入的膳食纤维、维生素 D、钙、铁等营养素严重

不足[40]。IBD 患者微量营养素缺乏与疾病的长期和复杂过程有关，欧洲临床营养与代谢协会提倡对 IBD 患者微量营养素状态定期评估并及时干预[17]，该模块保证患者微量营养素的摄入在正常范围，有利于预防 IBD 并发症发生。辅助治疗是 IBD 健康膳食推荐考虑的另一个重要因素。通过膳食调节机体炎症水平，对改善患者预后产生积极影响。辅助治疗模块基于文献选取具有抗炎特性的营养素包括膳食纤维、维生素 A、维生素 C、维生素 E、硒、镁和锌，具有促炎特性的营养素包括能量、脂肪、蛋白质和铁，在膳食推荐时增加摄入具有抗炎特性的食物，同时减少促炎食物的摄入，以降低体内的炎症水平，避免病情恶化。膳食偏好作为 IBD 患者健康膳食推荐的综合目标之一可有效提高患者对推荐膳食的依从性，鼓励患者遵循个性化膳食管理方案。膳食偏号模块通过分析患者食物 – 频次矩阵，保证推荐食物符合 IBD 患者喜好范围，注重 IBD 患者膳食推荐的合理性，确保推荐食物所含营养素和维持 IBD 患者膳食偏好之间取得平衡。因此，本研究以证据为基础，通过综合考虑营养、治疗和偏好等膳食推荐目标，构建 IBD 患者健康膳食推荐模型，为 IBD 患者膳食指导提供循证支持，有助于 IBD 膳食管理从以经验为主的传统护理向以科学为依据的精准化发展。

3.2 IBD 患者健康膳食推荐模型具有较高准确性和实用性

膳食推荐模型作为向 IBD 患者、家属及医护人员提供膳食管理支持的辅助工具，其推荐的准确性和实用性至关重要。本研究中膳食推荐模型中营养需求的约束条件是研究小组成员依据国内外文献的同时结合德尔菲专家咨询实现，同时在计算机技术的辅助下，将零散无序的 IBD 患者膳食营养推荐意见整合成全面整体的推荐体系，实现证据的可操作性，在保证内容准确的同时确保其有较强的临床实用性。一方面，在膳食偏好推荐中，采用食物 – 频次矩阵计算的方式，选择符合患者口味偏好的食物进行推荐。经验证显示，患者实际摄入的食物种类和推荐模型推荐的食物种类两者之间准确率为 80.0~100%，平均准确率为 95.5%，说明该模型基于患者膳食偏好的推荐准确性较高，这一结果表明该模型推荐的膳食方案能全面评估患者和群体的膳食偏好，从而给予针对性的膳食推荐方案。另一方面，从推荐的能量及营养素误差验证结果显示，本研究中的 6 种营养素中有 5 种营养素误差在 20% 以内，最低误差为 0.82%，最高误差为 51.02%，平均误差 12.60%。依据相关文献，通常而言，各营养素摄入量与标准值误差在 ±10% 以内属于营养摄入正常[37]。其中膳食纤维误差达到最大 51.02% 的原因在于目标患者 1 是患有肠道狭窄的 CD 患者，遵循国内外指南其缓解期膳食纤维的摄入量不超过 5 g，推荐食谱中推荐的食物膳食纤维含量为 2.446 g，按照推荐目标膳食纤维的推荐量符合要求。可见，本研究中构建的 IBD 患者健康膳食推荐模型在满足患者营养均衡、膳食偏好和抗炎需求三大目标上效果显著，成功实现了喜好度优先和营养均衡优先的膳食推荐功能。与国外相比，我国 IBD 患者膳食管理的研究起步稍晚，研究重点多关注 IBD 患者饮食摄入量、饮食模式等[10, 41]，较少有研究通过构建 IBD 患者健康膳食推荐模型来提高 IBD 患者膳食管理状况。本研究构建的膳食推荐模型在临床实际应用中，可以覆盖不同疾病类型和状态的患者所对应的营养需求和膳食偏好，保证膳食推荐的精准，是改善 IBD 患者肠道症状和延缓疾病进展的重要支持工具，对各地患者和各级医护、营养师人员具有普遍适用性和实用性。

3.3 基于多目标规划的 IBD 患者健康膳食推荐模型的意义分析

本研究尝试将 IBD 膳食管理的目标从关注营养需求的单一要求转化为综合考虑营养需求、辅助治疗和膳食偏好的科学、有效、规范的精准管理，为未来 IBD 膳食管理的优化配置提供思路。综合文献回顾发现，IBD 患者食物素养较低，营养管理认知不足且依从性较差，对蛋白质、膳食纤维、钙、铁等摄入量了解不够全面，在日常膳食管理过程中，其膳食管理行为与基于循证指南的证据推荐存在巨大差距，主要表现为过度饮食限制甚至引起回避 / 限制性饮食摄入障碍[6, 38, 42]。因此，亟需为 IBD 患者制定科学健康膳食推荐方案，帮助患者正确认识膳食管理，树立健康膳食的意识，提高健康膳食行为的依从性。目前，国内外针对 IBD 患者饮食管理提供了多方面的支持，主要分为营养宣教[43]、医护人员根据食物不耐受检测[44]和基于饮食日记的个性化饮食支持[41]，然而这种方式消耗大量的医疗资源，而且医生也很难为患者提供日常生活中每一餐的饮食支持，临床推广性意义不高。本研究基于指南和多目标规划的 IBD 患者健康膳食推荐模型不仅能够为 IBD 患者和医护人员提供循证的膳食指导信息，促进证据融入临床实践，缩小膳食指南与膳食实践差距；还能够通过推荐指标内容结合预设的医学逻辑与计算机对于数据的精确计算和结果分析，把营养师的专业技能赋能计算机，成为随时随地帮助患者的智能营养师，为患者提供及时的膳食推荐方案，辅助患者及医护人员进行精准膳食管理。在膳食推荐研究方法上，本研究突破传统模型构建方法，引入了计算机领域的多目标粒子群算法，对护理领域构建多目标、多维度的模型提供一定的参考，为实现动态、精细化慢性病管理，提高医疗资源分配效率提供多元解决思路。此外，本研究构建的膳食推荐模型还可以作为将来 IBD 膳食管理标准化研究的基石，未来可实现 IBD

患者智能化膳食推荐支持方案可及落地，推进“医院–社区–家庭”全程膳食管理模式，在此基础上整合全国不同地域的患者资料，为大范围研究提供支持。

4 小结

本研究构建的 IBD 患者健康膳食推荐模型具有较高的科学性与准确性，可为患者提供个性化精准化的膳食推荐方案，有助于医护人员针对不同类型的患者采取针对性的膳食管理建议和措施。本研究存在一定的局限性，构建的模型仅提供整日食物推荐，无法细化到每一餐的推荐且没有考虑实际膳食中油类的推荐，同时未对每周摄入食物种类进行界定，模型仅在部分患者群体中进行验证，未来需要进行多中心、大样本的研究，以进一步验证、优化模型的效能。

作者贡献：尹婷婷、徒文静、黄丽娜负责研究设计、课题实施、资料分析、论文撰写；李伊婷负责论文修改；徐桂华、柏亚妹负责研究指导、论文审阅。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] UNGARO R，MEHANDRU S，ALLEN P，et al. Ulcerative colitis［J］. Lancet，2017，389：1756–1770. DOI：10.1016/S0140–6736(16)32126–2.

[2] TORRES J，MEHANDRU S，COLOMBEL JF. Crohn's disease［J］. Lancet，2017，389（10080）：1756–1770. DOI：10.1016/S0140–6736(16)32126–2.

[3] BEARD J A，FRANCO D L，CLICK B H. The burden of cost in inflammatory bowel disease：a medical economic perspective and the future of value–based care［J］. Curr Gastroenterol Rep，2020，22（2）：6. DOI：10.1007/s11894–020–0744–z.

[4] CHEN X J，XIANG X，XIA W T，et al. Evolving trends and burden of inflammatory bowel disease in Asia，1990–2019：a comprehensive analysis based on the global burden of disease study［J］. J Epidemiol Glob Health，2023，13（4）：725–739. DOI：10.1007/s44197–023–00145–w.

[5] COVELLO C，BECHERUCCI G，SCALDAFERRI F，et al. Popular diets and nutritional assessment in the management of irritable bowel syndrome in inflammatory bowel disease：an overview of current evidence［J］. Pol Arch Intern Med，2024，134（2）：16659. DOI：10.20452/pamw.16659.

[6] 尹婷婷，徒文静，徐雯婧，等. 炎症性肠病患者饮食限制行为现状及其影响因素的研究进展［J］. 胃肠病学，2022，27（7）：439–443. DOI：10.3969/j.issn.1008–7125.2022.07.009.

[7] LOMER M C E，WILSON B，WALL C L. British Dietetic Association consensus guidelines on the nutritional assessment and dietary management of patients with inflammatory bowel disease［J］. J Hum Nutr Diet，2023，36（1）：336–377. DOI：10.1111/jhn.13054.

[8] SOOD A，AHUJA V，KEDIA S，et al. Second correction to：diet and inflammatory bowel disease：the Asian working group guidelines［J］. Indian J Gastroenterol，2020，39（6）：627–628. DOI：10.1007/s12664–020–01112–0.

[9] 中华医学会肠内肠外营养学分会，中国医药教育协会炎症性肠病专业委员会. 中国炎症性肠病营养诊疗共识［J］. 中华消化病与影像杂志：电子版，2021，11（1）：8–15.

[10] 王旻，徒文静，张萍，等. 炎症性肠病患者饮食限制现况及其饮食限制种类影响因素的多中心研究［J］. 中国全科医学，2022，25（6）：663–668. DOI：10.12114/j.issn.1007–9572.2021.02.065.

[11] 方园，周英凤，李丽，等. 妊娠期糖尿病非药物管理决策支持系统的构建及应用［J］. 中华护理杂志，2023，58（9）：1043–1049.

[12] 沐婷玉，许日祥，朱倩寅，等. 正常高值血压人群生活方式决策支持系统的构建及应用［J］. 中华护理杂志，2024，59（6）：654–661.

[13] 孙晋洁，孙永强. 炎症性肠病患者营养认知行为调查与营养不良分析［J］. 实用临床医药杂志，2020，24（2）：83–86. DOI：10.7619/jcmp.202002024.

[14] 赖旺宝. 慢性溃疡性结肠炎患者饮食特点及诱发因素［J］. 慢性病学杂志，2020，21（11）：1686–1688. DOI：10.16440/j.cnki.1674–8166.2020.11.023.

[15] Lee Dale Young. 炎症性肠病患者的维生素和矿物质缺乏［J］. UpToDate，2021.

[16] Delegge Mark H. 成人炎症性肠病患者的营养和膳食管理［J］. UpToDate，2020.

[17] BISCHOFF S C，ESCHER J，HÉBUTERNE X，et al. ESPEN practical guideline：Clinical Nutrition in inflammatory bowel disease［J］. Clin Nutr，2020，39（3）：632–653. DOI：10.1016/j.clnu.2019.11.002.

[18] 黄雨桦，姚丹华. 克罗恩病围手术期营养支持指南（2021 版）［J］. 中国实用外科杂志，2021，41（6）：646–652. DOI：10.19538/j.cjps.issn1005–2208.2021.06.05.

[19] NAKASE H，UCHINO M，SHINZAKI S，et al. Evidence–based clinical practice guidelines for inflammatory bowel disease 2020［J］. J Gastroenterol，2021，56（6）：489–526. DOI：10.1007/s00535–021–01784–1.

[20] LEVINE A，RHODES J，LINDSAY J，et al. Dietary guidance for patients with inflammatory bowel disease from the international organization for the study of inflammatory bowel disease［J］. Clin Gastroenterol Hepatol，2020，18（6）：1381–1392. DOI：10.1016/j.cgh.2020.01.046.

[21] LAMB C A，KENNEDY N A，RAINE T，et al. British Society of Gastroenterology consensus guidelines on the management of inflammatory bowel disease in adults［J］. Gut，2019，68（Suppl 3）：s1–106. DOI：10.1136/gutjnl–2019–318484.

[22] TORRES J，ELLUL P，LANGHORST J，et al. European Crohn's and colitis organisation topical review on complementary medicine and psychotherapy in inflammatory bowel disease［J］. J Crohns Colitis，2019，13（6）：673–685e. DOI：10.1093/ecco–jcc/jjz051.

[23] MACK D R，BENCHIMOL E I，CRITCH J，et al. Canadian association of gastroenterology clinical practice guideline for the medical management of pediatric luminal Crohn's disease［J］.

J Can Assoc Gastroenterol，2019，2（3）：e35-e63. DOI：10.1093/jcag/gwz018.
［24］朱秀琴，张素，王霞，等. 成人活动期炎症性肠病护理专家共识［J］. 护理学杂志，2022，37（8）：1-6.
［25］ANANTHAKRISHNAN A N，KAPLAN G G，BERNSTEIN C N，et al. Lifestyle，behaviour，and environmental modification for the management of patients with inflammatory bowel diseases：an international organization for study of inflammatory bowel diseases consensus［J］. Lancet Gastroenterol Hepatol，2022，7（7）：666-678. DOI：10.1016/S2468-1253（22）00021-8.
［26］RAN Z H，WU K C，MATSUOKA K，et al. Asian Organization for Crohn's and Colitis and Asia Pacific Association of Gastroenterology practice recommendations for medical management and monitoring of inflammatory bowel disease in Asia［J］. J Gastroenterol Hepatol，2021，36（3）：637-645. DOI：10.1111/jgh.15185.
［27］朱维铭，胡品津，龚剑峰. 炎症性肠病营养支持治疗专家共识（2013·深圳）［J］. 胃肠病学，2015，20（2）：97-105.
［28］RAMAKRISHNA B S，MAKHARIA G K，AHUJA V，et al. Indian Society of Gastroenterology consensus statements on Crohn's disease in India［J］. Indian J Gastroenterol，2015，34（1）：3-22. DOI：10.1007/s12664-015-0539-6.
［29］殷青霞，王莉慧，区洁霞，等. 克罗恩病患者饮食管理的证据总结［J］. 护理学报，2022，29（1）：47-52. DOI：10.16460/j.issn1008-9969.2022.01.047.
［30］李苗苗，熊宇，罗健. 炎症性肠病患者营养支持的最佳证据总结［J］. 中华护理杂志，2021，56（9）：1394-1401. DOI：10.3761/j.issn.0254-1769.2021.09.020.
［31］CAMPMANS-KUIJPERS M J E，DIJKSTRA G. Food and food groups in inflammatory bowel disease（IBD）：the design of the Groningen anti-inflammatory diet（GrAID）［J］. Nutrients，2021，13（4）：1067. DOI：10.3390/nu13041067.
［32］SHIVAPPA N，STECK S E，HURLEY T G，et al. Designing and developing a literature-derived，population-based dietary inflammatory index［J］. Public Health Nutr，2014，17（8）：1689-1696. DOI：10.1017/S1368980013002115.
［33］《中国食物成分表》标准版第 6 版第一二册出版. 营养学报，2019. 41（05）：第 426 页.
［34］舒世昌，张野. 兼顾经济与偏好的多目标分析在营养膳食决策中的应用［J］. 价值工程，2013，32（28）：15-18.
［35］YIN T T，TU W J，LI Y T，et al. Nutrients，diet quality，and dietary patterns in patients with inflammatory bowel disease：a comparative analysis［J］. Nutrients，2024，16（18）：3093. DOI：10.3390/nu16183093.
［36］中国居民膳食指南（2022）平衡膳食准则［J］. 疾病预防控制通报，2024，39（1）：95.
［37］何金超，罗芳，袁知才，等. 协同过滤和粒子群算法在饮食推荐中的应用［J］. 计算机应用与软件，2019，36（8）：36-40，59. DOI：10.3969/j.issn.1000-386x.2019.08.007.
［38］TU W J，YAN S X，YIN T T，et al. Mobile-based program improves healthy eating of ulcerative colitis patients：a pilot study［J］. Digit Health，2023，9：20552076231205741. DOI：10.1177/20552076231205741.
［39］张文玉，马贤纵，谢惠，等. 炎症性肠病患者营养障碍的研究［J］. 胃肠病学和肝病学杂志，2024，33（6）：641-645. DOI：10.3969/j.issn.1006-5709.2024.06.002.
［40］LAMBERT K，PAPPAS D，MIGLIORETTO C，et al. Systematic review with meta-analysis：dietary intake in adults with inflammatory bowel disease［J］. Aliment Pharmacol Ther，2021，54（6）：742-754. DOI：10.1111/apt.16549.
［41］薛宁，魏绪霞. 定制饮食与炎症性肠病研究进展［J］. 肠外与肠内营养，2022，29（6）：375-379.
［42］CROOKS B，MCLAUGHLIN J，MATSUOKA K，et al. The dietary practices and beliefs of people living with inactive ulcerative colitis［J］. Eur J Gastroenterol Hepatol，2021，33（3）：372-379. DOI：10.1097/MEG.0000000000001911.
［43］张萍，徒文静，韩娟. 对成人初显期炎症性肠病患者基于LEARNS模式健康教育的效果观察［J］. 护理学报，2022，29（4）：74-78. DOI：10.16460/j.issn1008-9969.2022.04.074.
［44］杨宇霖. IBD 患者食物特异性抗体分布特征及其临床意义［D］. 南京：南京大学，2019.

（收稿日期：2024-08-13；修回日期：2024-12-15）
（本文编辑：贾萌萌）